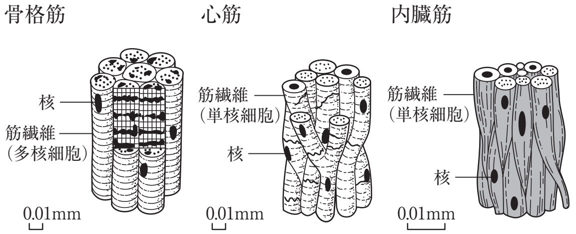
第27講　効果器

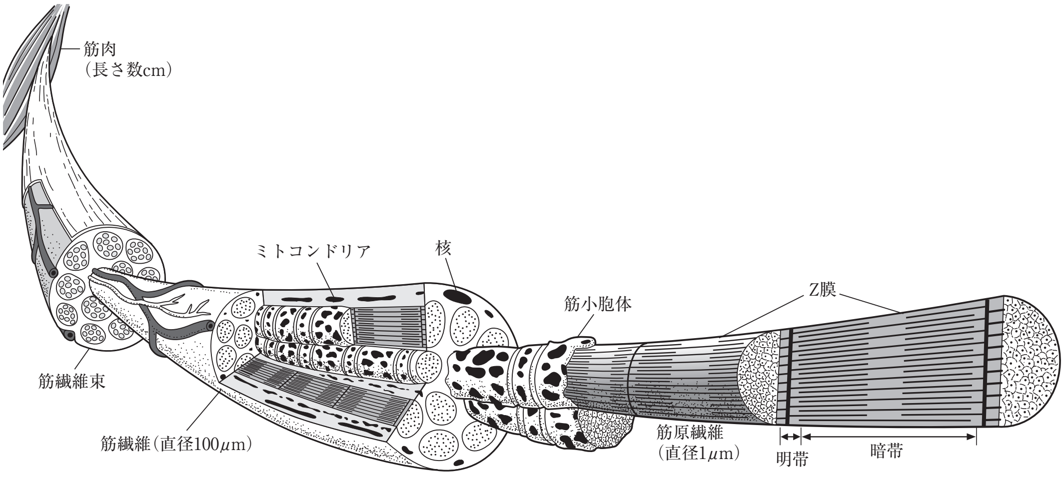
■筋肉

◆筋肉の分類

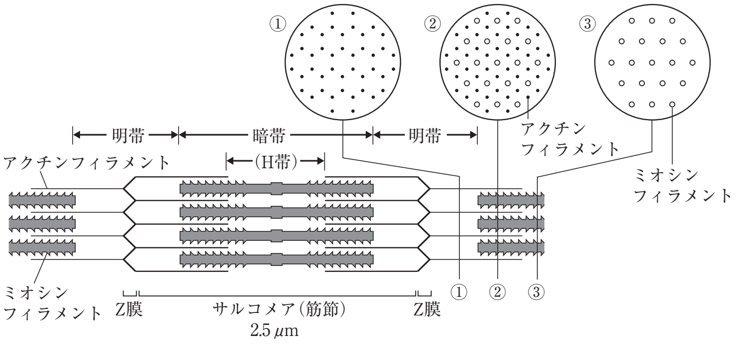
形態	分布	神経支配	特徴
横紋筋	骨格筋	随意筋	横紋がある多核の筋繊維で構成される。収縮は速いが，疲れやすい。
	心　筋	不随意筋	横紋がある単核で枝分かれのある細胞で構成される。収縮は速く，疲れにくい。
平滑筋	内臓筋		横紋のない単核で紡錘形の細胞からなる。収縮はゆるやかだが，疲れにくい。



◆筋肉の階層



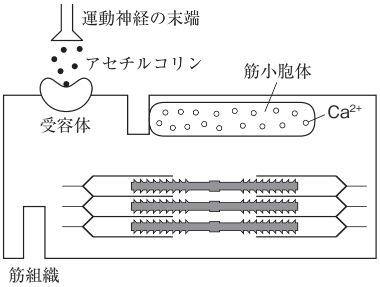
◆サルコメア…筋収縮の最小単位。アクチンフィラメントとミオシンフィラメントからなる。



©RECRUIT HOLDINGS

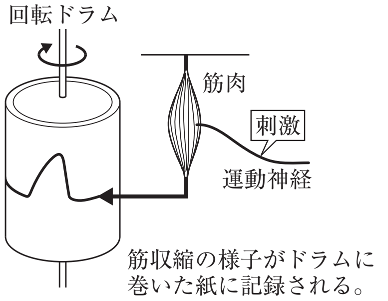
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

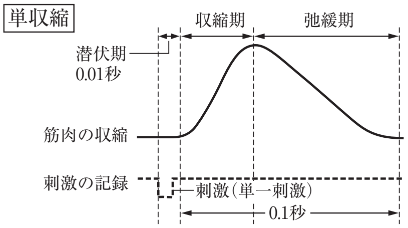
◆筋収縮

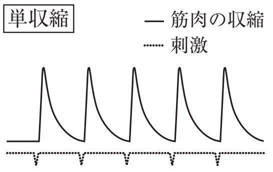
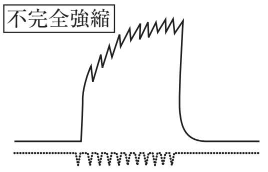
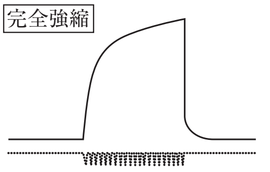


①運動神経の末端からアセチルコリンが放出される。
②筋繊維の細胞膜上の受容体にアセチルコリンが結合，膜が興奮する。
③筋小胞体からCa^{2+}が放出。Ca^{2+}はアクチンフィラメントに結合する。
④アクチンフィラメントとミオシンフィラメントが結合できるようになり，ミオシンフィラメントがATPを分解することで，アクチンフィラメントがミオシンフィラメント間に滑り込んで収縮する。

・筋肉の収縮



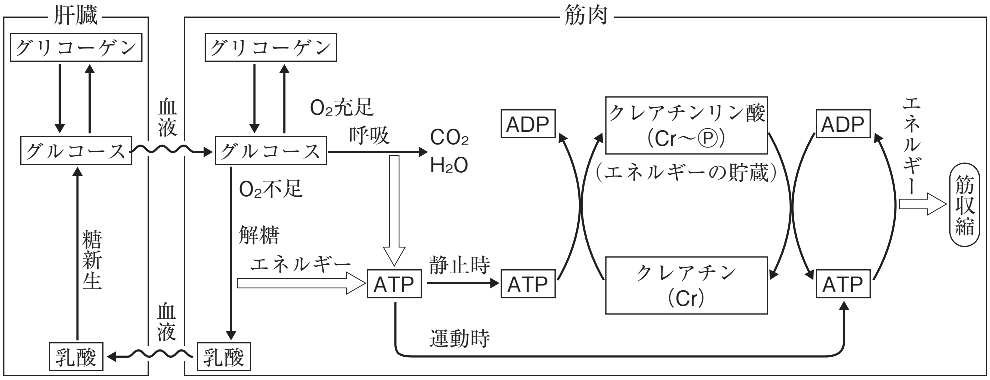


		
単一刺激を低頻度で与えたときの収縮を単収縮(れん縮)という。	弛緩の途中で次の収縮が起こる頻度で刺激した場合の収縮を不完全強縮という。	高頻度で刺激を与えたときの収縮を完全強縮という。

ⒸRECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

・筋収縮のエネルギー



ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第27講　演習問題

筋肉では，細長い細胞が多数集まって収縮性の強い構造をつくっている。このような組織を筋組織といい，(a)横紋の見られる筋肉と横紋の見られない筋肉とに分けられる。骨格筋は横紋の見られる筋肉であり，直径0.05～0.1mm，長さ数cmの巨大な筋細胞からできている。この内部には筋原繊維と呼ばれる円筒状の構造が束になって存在する。(b)筋原繊維は，Z膜という構造で仕切られたサルコメアとよばれる基本単位がくり返されてできている。サルコメアの中には,ミオシンフィラメントとアクチンフィラメントが規則的に並んでいる。また,筋小胞体と呼ばれる袋状の膜構造が筋原繊維を包むように分布している。

運動神経の興奮が筋細胞に伝えられると，(c)筋細胞の細胞膜が興奮し，その興奮が筋小胞体に伝えられ，筋小胞体からカルシウムイオン(Ca^{2+})が放出され，このCa^{2+}の作用によって，アクチンフィラメントがミオシンフィラメントと結合できるようになる。この結合によって，ミオシン分子の頭部(ミオシンフィラメントから出ている突起)がATPを加水分解してエネルギーを産生する。このエネルギーを用いてミオシンフィラメントはアクチンフィラメントをたぐり寄せ，(d)アクチンフィラメントがミオシンフィラメントの間に滑り込み，筋細胞が収縮する。筋細胞の興奮がなくなると，Ca^{2+}は能動輸送によって筋小胞体に取り込まれ，ミオシンフィラメントとアクチンフィラメントが離れ，筋肉が弛緩する。

(1)　下線部(a)に関して，体を構成する筋肉の特性を比較した表1を示す。空欄(　ア　)～(　ク　)に入る最も適切なものを下の①～⑧からそれぞれ選んで番号で答えなさい。

表1　筋肉の分類とその性質

特性＼種類	骨格筋	心筋	平滑筋
横紋	(　ア　)	ある	(　イ　)
1つの細胞に含まれる核の数	(　ウ　)	1個か2個	(　エ　)
収縮の速さ	(　オ　)	速い	(　カ　)
随意筋・不随意筋	随意筋	(　キ　)	(　ク　)

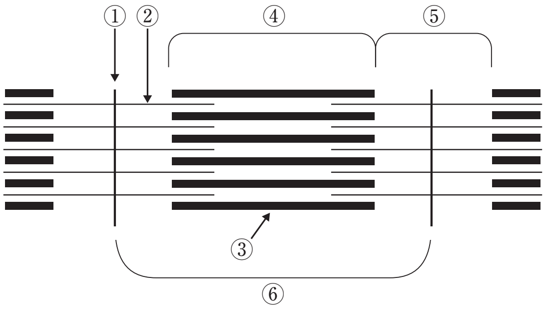
①　ある　　②　ない　　③　1個　　④　複数個
⑤　速い　　⑥　遅い　　⑦　随意筋　　⑧　不随意筋

ⒸRECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

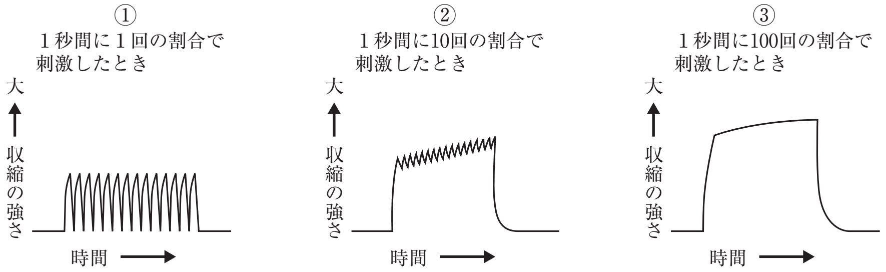
⑵　下線部⒝に関して，明帯(明るい部分)，暗帯(暗い部分)，サルコメア，Z膜，アクチンフィラメント，ミオシンフィラメントに相当する部分の番号を図１の①～⑥からそれぞれ選んで番号で答えなさい。

図１



⑶　下線部⒞に関して，電気刺激によって骨格筋の筋細胞膜を興奮させて，筋収縮をおこさせた。刺激の頻度(ひんど)を増やすと，図２の①～③の収縮パターンが得られた。これらの筋収縮の名称を答えなさい。

図２



⑷　下線部⒟に関して，いま，筋肉が弛緩しているときの明帯の長さが1.3μm，暗帯の長さが1.7μmであった。このときのサルコメアの長さは何μmであるかを答えよ。つぎに筋細胞が収縮し，サルコメアの長さは筋肉が弛緩しているときより10％短縮した。このとき，明帯と暗帯の長さはそれぞれ何μmになるかを答えなさい。

ⒸRECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

⑸　いま，筋肉が弛緩しているときのアクチンフィラメントとミオシンフィラメントが重なり合っている部分の１ヵ所の長さが各0.1μm，明帯の長さが1.3μm，暗帯の長さが1.7μmである骨格筋がある。サルコメアの長さを3.2μmに引きのばした状態で，筋細胞膜に興奮をおこさせて収縮力が生じるか否かを答え，その理由を50字以内で説明しなさい。ただし，このとき筋細胞膜や細胞内の膜構造が壊れることはなかったとします。

⑹　筋収縮にはATPが必要であるが，頻繁（ひんぱん）に収縮するとATPが不足する。筋肉には高エネルギーリン酸結合をもつ化学物質が多量に含まれており，ATPが必要になると，この物質を分解して得られたエネルギーとリン酸によって，ADPからATPが合成される。この高エネルギーリン酸化合物の名称を答えなさい。

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

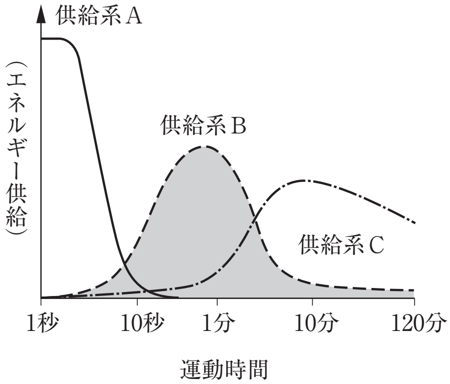
第27講　確認テスト

神経からの興奮が筋繊維に伝えられると1)骨格筋は収縮し，やがて弛緩する。骨格筋の収縮は，2)筋原繊維の2種類のフィラメント間の滑り運動にもとづいている。

ヒトにおける筋肉の活動のエネルギー源はATPである。図1に示すように，陸上競技では，ATPは運動時間に応じて3種類の異なった供給系から供給されている。約10m/秒の速度で疾走する100メートル走では，スタート直後は，貯蔵ATPと供給系Aから得られるATPをエネルギー源として用いる。その後は，主に供給系Bにより，筋肉に蓄えられたグリコーゲンを材料として得られるATPを用いる。走行中にグリコーゲンから生じた疲労物質である(　イ　)は，走行後に再びグリコーゲンに変換される。

マラソンでは，利用可能なエネルギー源として(　ロ　)に蓄えられたグリコーゲンが筋肉のグリコーゲンを補う働きをする。しかし，これだけでは，競技に必要な多量のATPを賄うには充分ではなく，体内に蓄えられた(　ハ　)を材料とした供給系Cから大部分のATPを得ている。この供給系CからのATPの生成はホルモンにより調節されている。激しい運動により血糖値が＜　あ　＞くなるとインスリンに対するグルカゴンの比が＜　い　＞くなり，その結果(　ハ　)からの(　ニ　)の生成が増加する。生じた(　ニ　)は，3)酸化反応によりC_2化合物(活性酢酸)に変換されたのちクエン酸回路に入りATP合成に使用される。

図1



問1　文中の(　イ　)～(　ニ　)にあてはまる最も適当な語句を次のa～hからそれぞれ選べ。

a．グルコース　　b．セルロース　　c．ピルビン酸　　d．乳酸
e．アミノ酸　　f．腎臓　　g．すい臓　　h．肝臓

問2　図1のエネルギー供給系A－B－Cの組み合わせとして最も適当なものを次のa～fから選べ。

a．クエン酸回路－好気呼吸－解糖　　b．解糖－クレアチンリン酸－クエン酸回路
c．好気呼吸－解糖－クレアチンリン酸　　d．クレアチンリン酸－解糖－好気呼吸
e．クレアチンリン酸－好気呼吸－解糖　　f．好気呼吸－クエン酸回路－解糖

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

問３　文中の＜　あ　＞・＜　い　＞にあてはまる語句の組み合わせとして最も適当なものを，次のa～dから選べ。

a．＜　あ　＞高　　＜　い　＞高　　　b．＜　あ　＞低　　＜　い　＞高
c．＜　あ　＞高　　＜　い　＞低　　　d．＜　あ　＞低　　＜　い　＞低

問４　文中の下線部1)の収縮・弛緩を調節している機構の説明として最も適当なものを，次のa～dから選べ。

a.　筋繊維の細胞膜の興奮がＴ管をへて筋原繊維を取りかこむ筋小胞体に伝えられ，筋小胞体が細胞質基質から能動的にCa^{2+}を取り込むと筋肉は収縮し，興奮が終わるとCa^{2+}の大部分は受動的に筋小胞体から細胞質基質に放出され，筋肉は弛緩する。

b.　筋繊維の細胞膜の興奮がＴ管をへて筋原繊維を取りかこむ筋小胞体に伝えられ，筋小胞体から細胞質基質に受動的にCa^{2+}が放出されると筋肉は収縮し，興奮が終わるとCa^{2+}の大部分は能動的に筋小胞体に取り込まれ，筋肉は弛緩する。

c.　筋繊維の細胞膜の興奮がＺ膜をへて筋原繊維を取りかこむ筋小胞体に伝えられ，筋小胞体が細胞質基質から能動的にCa^{2+}を取り込むと筋肉は弛緩し，興奮が終わるとCa^{2+}の大部分は受動的に筋小胞体から細胞質基質に放出され，筋肉は収縮する。

d.　筋繊維の細胞膜の興奮により筋原繊維が興奮し，その興奮が筋原繊維を取りかこむ筋小胞体に伝えられるとそこから細胞質基質に受動的にCa^{2+}が放出されて筋肉は弛緩し，興奮が終わるとCa^{2+}の大部分は能動的に筋細胞外に放出され，筋肉は収縮する。

問５　文中の下線部２)の機構により筋繊維は収縮する。図2aは，細いフィラメント間には重なりがなく，それらのフィラメントの先端同士が接触した収縮状態におけるサルコメアを模式的に示している。一方，図2bは，その長さが3.50μmで弛緩状態にあるサルコメアを示しており，その弛緩状態においては，太いフィラメントと細いフィラメントが相互に重ならず，また，それらのフィラメントの先端の間に隙間がない。以下の問(ⅰ)・(ⅱ)に答えよ。

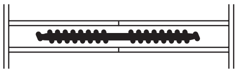
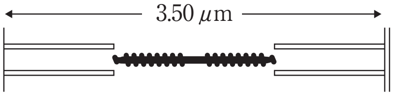
図2a


図2b


(ⅰ)　図2aに示した収縮状態にあるサルコメアから構成された筋原繊維の明帯の長さは0.40μmであった。筋原繊維の暗帯の長さ[μm]を求めよ。

(ⅱ)　図2bの弛緩状態にあるサルコメアが図2aの状態に収縮するのに0.31秒かかった。弛緩時の長さが24.5cmの筋繊維があり，その全長にわたってこのサルコメアが均一に連なっていると仮定したとき，この筋繊維の収縮速度[cm/秒]を求めよ。

ⒸRECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第27講　演習問題

(1)　ア　①　　イ　②　　ウ　④　　エ　③
　　オ　⑤　　カ　⑥　　キ　⑧　　ク　⑧

(2)　明帯　⑤　　暗帯　④　　サルコメア　⑥　　Z膜　①
　　アクチンフィラメント　②　　ミオシンフィラメント　③

(3)　①　単収縮　　②　不完全強縮　　③　(完全)強縮

(4)　サルコメアの長さ　3.0[μm]
　　明帯の長さ　1.0[μm]
　　暗帯の長さ　1.7[μm]

(5)　収縮力は生じない。
　　理由…アクチンフィラメントとミオシンフィラメントの重なりがなくなってしまったため。

(6)　クレアチンリン酸

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第27講　確認テスト

問１　(イ)　d　(ロ)　h　(ハ)　a　(ニ)　c

問２　d　問３　b　問４　b

問５　(i)　1.55［μm］　(ii)　35［cm/秒］

【解説】

問１　嫌気的な条件で筋肉が収縮する場合は，解糖によって生じたエネルギーが筋収縮に用いられ，合わせて生じた乳酸が疲労の原因となる。グリコーゲンはグルコースが多数つながった動物性の多糖類で，主に肝臓に貯蔵されているが，一部筋肉の中にも貯蔵されており，解糖やそれに続く好気呼吸(呼吸)の基質であるグルコースの供給源となる。解糖でも呼吸でも，グルコースは解糖系によってC_3化合物であるピルビン酸に分解され，解糖では脱炭酸反応，還元反応を経て乳酸に，呼吸では脱炭酸反応により活性酢酸(アセチルCoA)へと変化してから，クエン酸回路に入っていく。

問２　筋収縮に用いられるエネルギーは，まずはクレアチンリン酸からADPへのリン酸の転移反応によってATPが再合成されることで供給される。その後，酸素の供給が不十分な状況であれば解糖によるATP供給，酸素が十分に供給される状況になると呼吸によるATP供給へと切り替わっていく。ゆえに，dが正しい。

問３　激しい運動によってATPが消費され，それを補うために解糖や呼吸によるATP合成が活発に行われるので，血糖値はまず低下する。その結果，血糖値を下げるホルモンであるインスリンの濃度は低下し，血糖値を上げるホルモンであるグルカゴンの濃度は上昇する。ゆえに，インスリンに対するグルカゴンの比は高くなる。bが正解となる。

問４　運動神経の軸索末端から放出されたアセチルコリンは，筋繊維の細胞膜上の受容体に結合する。その結果，筋繊維の細胞膜が興奮し，その興奮は筋繊維全体に伝わる。筋繊維の細胞膜は陥入し細い管構造(T管)を細胞内部に広げており，これによって細胞の深部にまで興奮が伝わる。その結果，筋原繊維を取り囲む筋小胞体からCa^{2+}が放出され，筋収縮が起こる。興奮が終わると筋小胞体にCa^{2+}が能動的に再吸収され，筋肉は弛緩する。ゆえに，bが正しい。a，cは，興奮によって起こる筋小胞体でのCa^{2+}の輸送の方向性，dは興奮によって筋肉が弛緩するとの記述が不適である。

©RECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

問５　(i)　Ｚ膜からアクチンフィラメントの端末までの長さをx[μm]，ミオシンフィラメントの長さをy[μm]とすると，暗帯の長さはミオシンフィラメントの長さとなるのでy[μm]となる。図2aより，明帯はアクチンフィラメントのみで構成される部分なので，$2x-y=0.4$が成り立つ。また図2bより，$2x+y=3.5$となるので，この2つの式から，$y=1.55$[μm]と求めることができる。

(ii)　図2aのサルコメアの長さは，$1.55+0.4=1.95$[μm]であり，図2bよりも，$3.5-1.95=1.55$[μm]だけ短くなっている。弛緩時の長さが24.5[cm]の筋繊維には，図２bの状態のサルコメアが，$\dfrac{24.5\times10^4}{3.5}=7\times10^4$個並んでいると考えられるので，すべてのサルコメアが図2bから図2aの状態に収縮した場合，筋繊維全体の収縮した長さは，$1.55\times7\times10^4=10.85\times10^4$[$\mu$m]$=10.85$[cm]となる。これが0.31秒で起こっているので，その収縮速度は，$\dfrac{10.85}{0.31}=35$[cm/秒]となる。

ⒸRECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。